

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ, СТРОИТЕЛЬСТВУ И ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОДОРОЖНЫХ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

В настоящее время, к сожалению, в нашей стране такие процессы жизненного цикла (ЖЦ) искусственных сооружений (ИС), как проектирование, строительство и эксплуатация, имеют множество противоречий, как между собой, так и со здравым смыслом. Как следствие, эти противоречия вызывают снижение долговечности, безопасности, грузоподъемности, а также большие напрасные затраты из бюджетов всех уровней. В настоящей статье это будет проанализировано на примере связи процессов «проектирование – эксплуатация», используя конкретные примеры.

Основными причинами преждевременного износа и старения элементов ИС являются:

- неправильные проектные решения;
- строительный брак;
- недостаточный и неэффективный надзор на стадии эксплуатации;
- неудовлетворительное осуществление ухода и профилактики;
- пропуск сверхтяжелых и негабаритных нагрузок.

При этом первые две причины – проектная и строительная, в значительной степени определяют негативные последствия от трех последних, относящихся к стадии эксплуатации, хотя обычно главными причинами снижения долговечности ИС считаются строительный брак и плохое содержание.

Это отчасти справедливо, но если строительные дефекты практически не зависят от проекта, то такие явления, как развитие эксплуатационных дефектов, главным образом, из-за снижения эффективности надзора и содержания – часто напрямую связаны с уровнем проектных решений.

Очевидно, что такие дорогостоящие, но непродолжительные меро-

приятия, как проектирование и строительство объекта, определяют его потребительские свойства и стоимость их поддержания на протяжении длительного периода эксплуатации. Следовательно, должна приветствоваться и поддерживаться сильная мотивация проектных и строительных организаций (далее – «создатели ИС») в повышении эффективности эксплуатации ИС и снижения стоимости ЖЦ. Для иллюстрации этого положения на рис. 1 приведена принципиальная схема развития сценариев соотношения стоимости создания и стоимости эксплуатации ИС.

Стоимость создания ИС $C_{созд}$, складывается из суммы проектно-изыскательских работ (ПИР) $C_{ПИР}$ и строительно-монтажных работ (СМР) $C_{СМР}$. Стоимость эксплуатации $C_{экспл}$, включает прямые затраты на надзор $C_{надз}$, содержание $C_{сод}$, ремонты $C_{рем}$. В мировой практике при анализе ЖЦ учитываются и косвенные затраты для общества, пользователей и окружающей среды, которые в данной работе не рассматриваются.

Таким образом, стоимость ЖЦ ИС в прямых затратах выражается уравнением 1.

$$C_{ЖЦ} = C_{созд} + C_{экспл} = C_{ПИР} + C_{СМР} + C_{надз} + C_{сод} + C_{рем} \quad (1)$$

Поскольку в современный период в России планируемая стоимость эксплуатации, как правило, не рассчитывается (за исключением единичных концессионных объектов), средняя диаграмма имеет не определенную количественно верхнюю область. Слева и справа показаны два принципиально возможных сценария развития ситуации при разных типах мотивации создателей ИС.

Левая диаграмма определяется мотивацией повышения чистой прибыли создателей ИС и характерна для текущей ситуации, когда прибыль пропорциональна удорожанию объекта. Так как долговечность ИС в данном случае не влияет на прибыль, создатели ИС глубоко не заинтересованы в ее повышении, им важно быстро сдать объект в эксплуатацию и закрыть акты. Такой подход нельзя назвать государственным.

Крайние проявления такого подхода, когда значительно подорожавшие, иногда уже в процессе строительства, объекты начинают разваливаться вскоре после ввода в эксплуатацию, хорошо известны в последнее время благодаря средствам массовой информации.

На правой диаграмме прибыль увязана с затратами на эксплуатацию, например, с помощью так популярного сейчас «контракта жизненного цикла» (КЖЦ), и появляются шансы в первых, оправданного повышения стоимости создания объекта за счет применения улучшенных материалов и технологий, а во-вторых, как следствие, снижения затрат на эксплуатацию. Если этот механизм будет работать, как в ряде преуспевающих государств мира, а не превратится в профанацию, мы сможем сказать, что государственный подход и здравый смысл побеждают.

Очень важную роль в совершенствовании создания и функционирования ИС с учетом оптимизации их ЖЦ должны сыграть проектные организации. В настоящее время большин-



Рис.1. Схема развития альтернативных сценариев мотивации повышения долговечности ИС, демонстрирующая негосударственный (слева) и государственный (справа) подходы

ство проектных организаций практически не производят планирования ЖЦ объекта, как это делается во многих передовых странах. При этом официальная оценка проекта, например, в экспертизе, может быть вполне удовлетворительной по ряду формальных признаков: соответствие действующим законам, инструктивным и нормативным документам, наличие необходимых разделов, экономия (разовая в процессе создания ИС) и т.п. Однако опыт долговременного наблюдения за развитием дефектов большой совокупности объектов, уже несколько лет осуществляемый подразделением ОАО «Трансмост», позволяет выявить неэффективность и противоречивость ряда проектных решений в смысле обеспечения сохранности и проектной долговечности ИС.

Анализируя «проектные» причины снижения долговечности, во-первых, следует отметить слабость отечественной нормативной базы в части регламентирования проектных решений, способствующих повышению срока службы элементов ИС. Это обусловлено, в первую очередь, полным отсутствием среди обязательных разделов проекта технико-экономического обоснования (ТЭО) эффективности ЖЦ. Между тем, в передовой мировой практике общепризнано, что данный вид ТЭО, именуемый «Анализом ЖЦ» (Life-cycle analyses) или «Анализом затрат и выгод» (Cost-benefit analyses), позволяет планировать сроки службы элементов и имеет не меньшую значимость, чем раздел «Транспортно-экономическая часть» (ТЭЧ).

Сейчас идет работа по возможности адаптации ряда положений европейских норм проектирования, так называемых Еврокодов, к проектированию в России, в том числе и для ИС. При этом проектировщиками часто используются те разделы, в которых регламентируются расчеты или конструирование элементов, не вошедших, или не развитых своевременно, в отечественных нормах. Например, элементов вантовой системы, упоров Нельсона и т.п. Но пока без внимания остаются разделы, посвященные индексам надежности, анализу ЖЦ и другим важным положениям, которые лежат в основе принятия проектных решений, удовлетворяющих требованиям максимальной долговечности, при сохранении элементами ИС допустимого уровня безопасности на всем протяжении срока службы.

В нормах развитых стран (Евросоюз, США, Япония) проектная долговечность несущих железобетонных элементов автодорожных ИС, при условии их эффективной защищенности в период эксплуатации от внешних негативных воздействий, оценивается до 100 лет, что соответствует

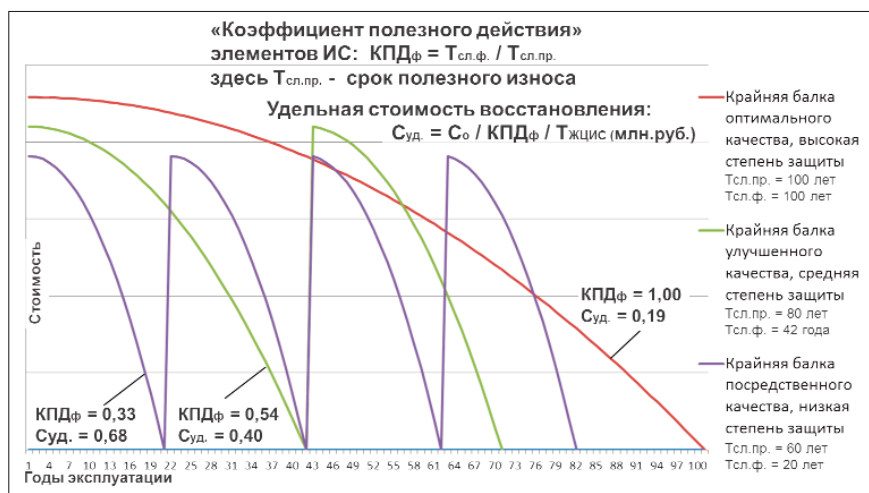


Рис.2. Сравнение восстановительной стоимости крайних балок моста

срокам полезного износа. Однако отечественная практика эксплуатации ИС показывает, что фактическая работоспособность элементов ИС, или срок их эксплуатации до ремонта, составляет в текущий период 20-30 лет, срок службы до полной замены элементов - 30-50 лет. Следовательно, существуют значительные резервы продления долговечности ИС.

В Еврокоде EN 1990 - 3.2(3)Р записано: «Выбранные проектные ситуации должны быть достаточно жесткими и разнообразными, чтобы охватить все условия, существование которых в периоды производства работ и эксплуатации конструкции может быть разумно предусмотрено».

В Еврокодах предлагается множество регламентов по управлению такими негативными ситуациями, возникающими в процессе эксплуатации ИС, например, классы агрессивного воздействия окружающей среды, соответствующие требования к характеристикам конструкций и материалов и т.п. Но наиболее комплексными инструментами, обосновывающими проектные решения по критериям долговечности и эффективности, являются методики анализа ЖЦ. Так, в Евросоюзе разработана методика LCA (Life Cycle Assessment), регламентированная в международных стандартах ISO 14040, ISO 14044, в соответствии с которой обосновывается выбор проектных решений, рекомендуемых Еврокодами EN 1990, EN 1992-1.1(-2), EN 1993-1(-2) и т.п.

Основными параметрами ЖЦ, анализируемыми при помощи вышеуказанных методик, являются:

- ущерб здоровью людей и окружающей среде;
- уровень безопасности движения;
- грузоподъемность;
- пропускная способность;
- срок службы элементов ТС;
- экономическая эффективность;
- среднегодовая стоимость ЖЦ;
- пользовательские издержки.

Мировые лидеры анализируют ЖЦ ИС по многим причинам, среди кото-

рых можно выделить и чисто практические интересы:

- плановые параметры ЖЦ являются целевыми показателями при реализации КЖЦ и позволяют повысить мотивацию подрядных строительных и эксплуатационных организаций;

- технико-экономический анализ ЖЦ ИС позволяет обосновать применение прогрессивных (иногда и более дорогих) вариантов конструкций и материалов, повышающих безопасность, долговечность и другие потребительские свойства, улучшающих процесс эксплуатации, снижающих ее стоимость, оптимизировать стратегии содержания;

- отзывы об отказах конструкций, неудобство их обслуживания, малые сроки службы, другие негативные события в процессе эксплуатации ИС, быют по репутации эксплуатационных, проектных и строительных организаций;

- мировой практикой статистически доказано, что количество критических отказов и обрушений ИС обратно пропорционально эффективности их ЖЦ.

Для расчетов фактической эффективности ЖЦ автор предлагает распространить понятие «коэффициент полезного действия» (KPD_{ϕ}) на элементы ИС. При этом:

$$KPD_{\phi} = T_{сл.ф.} / T_{сл.пр.}, \quad (2)$$

где KPD_{ϕ} – фактический КПД элемента ИС; $T_{сл.ф.}$ – фактический срок службы элемента ИС; $T_{сл.пр.}$ – проектный срок службы элемента ИС.

Очевидно, что проектный $KPD_{пр}$ следует закладывать равным 1, при этом $T_{сл.пр.}$ должен приниматься равным сроку «полного полезного» износа. Например, полный полезный износ железобетонной балки должен наступить при достижении опасного порога накопления усталостных повреждений и снижении сцепления арматуры и бетона от действия полезной нагрузки, а не от выщелачивания, на-



Рис.3. Несовпадение фактических уклонов моста с проектными при отсутствии водоотводных трубок, не предусмотренных проектом и, как следствие, застой воды



Рис.4. Мост через Ангару у села Богучаны на автодороге Богучаны – Юрубчен – Байкит, запроектированный ОАО «Трансмост», оснащен развитой системой эксплуатационных обустройств

копления хлоридов, коррозии и т.п. «несанкционированных» проектом явлений. Естественно, что в реальности КПДф далеко не всегда достигнет единицы. Причиной его текущего снижения может быть любое негативное явление. Соответственно, он может быть критерием для применения штрафных санкций за проезд сверхнормативных нагрузок, за плохое содержание в процессе КЖЦ и т. п. При помощи определения КПД элементов ИС можно рассчитывать удельные стоимости восстановления элементов ИС в процессе анализа ЖЦ, как, например, на рис.2

Приведем некоторые конкретные примеры снижения КПД мостовых конструкций в результате характерных проектных недоработок и ошибок и предложения по возможным контрмерам.

Во-первых, рассмотрим организацию водоотвода. В проекте продольные и поперечные уклоны идеальны и, с формальной точки зрения, обеспечивают полный отвод воды с мостового полотна и тротуаров. Поэтому проектами предусматривается все меньшее количество водоотводных трубок. Иногда трубки вообще не планируются, например, при достаточно больших продольных уклонах. Такое решение упрощает жизнь проектировщику, строителю и даже отчасти подрядной эксплуатирующей организации. На практике же линии профиля не идеальны в силу провисаний (или строительных подъемов) балок, осадок опор, опорных частей, «допусков» при укладке слоев дорожной одежды. Вследствие этого, даже при средних величинах уклонов 20‰ и более, образуются местные застои воды, ее фильтрация в нижележащие конструкции, насыщение их хлоридами, выщелачивание и коррозия. Иногда в этих случаях не спасает даже дренаж (рис.3).

Следовательно, необходимо более часто, с шагом 3 – 6 м ставить водоотводные трубки, применяя устойчивые к коррозии лотки и подвесы, на-

пример, из композитных материалов. Нужно также повышать качество дренажных каналов.

В настоящее время появился большой выбор типов гидроизоляции. Так как ковер гидроизоляции имеет разрывы и неровности, которых не избежать, наряду с оклеечной, следует обращать внимание на устройство современной напыляемой гидроизоляции на полиуретановой или битумной основе, образующей бесшовную мембрану на поверхности любой конфигурации с высокой степенью адгезии.

Деформационные швы создают множество проблем при эксплуатации. Кроме традиционного набора эксплуатационных дефектов, в последнее время на трассах с высокой интенсивностью движения быстро образуется колея, вызывающая значительные динамические удары транспортных средств о стальное окаймление швов. Здесь существуют две основные тенденции улучшающих мероприятий: создание защитных полос и снижение «угла атаки» окаймления, выполняемого непрямолинейным в плане.

В передовой мировой практике также уделяется большое внимание скорости замены конструкции шва, особенно на автострадах, для чего применяются швы на болтовых соединениях. Еще одним направлением, инициированным заказчиками – балансодержателями или владельцами инфраструктурных объектов, является проектирование «бесшовных» или «интегрированных» с земляным полотном мостов, не имеющих видимых разрывов в дорожной одежде. Данные решения, как правило, являются комплексными и достигаются при помощи особого устройства гибких стенок устоев, переходных плит и слоев дорожной одежды, при этом попутно решаются проблемы образования просадок на сопряжениях ИС с насыпями.

Проектные решения должны предусматривать не только удобную и быструю замену деформационных швов,

но и опорных частей. Для этого в нормах ряда развитых государств предусмотрены требования к проектированию «домкратных» поперечных балок и ниш для домкратного оборудования. Всегда при проектировании деформационные швы и опорные части должны рассматриваться, как части единого механизма.

Особая группа проблем связана с использованием оснований и подземных элементов опор и устоев. Существует негативная тенденция неиспользования старых оснований опор при капитальных ремонтах и реконструкциях мостов. Это вызвано отчасти справедливыми опасениями проектных организаций за несущую способность оснований опор в условиях отсутствия исполнительной документации (ИД). Очевидно, что достаточно достоверно определить несущую способность подземных конструкций при отсутствии ИД не представляется возможным. В результате сотни оснований опор, возведенных даже 30–50 лет назад, преждевременно списываются. Используя вышеприведенную терминологию, можно сказать, что их КПД составляет 50% и ниже. Здесь существует большой резерв повышения эффективности ЖЦ ИС. В качестве контрмеры по преодолению этой негативной тенденции для исправных опор, не имеющих рисков крена, в случаях отсутствия ИД, а также предусмотренных п.п. 2.8 – 2.9 ВСН 51-88, предлагается оснащать опоры средствами мониторинга осадок и проектировать пролетные строения и опорные части с возможностью оперативного регулирования их по высоте домкратами.

Проектные решения должны также обеспечивать достаточное оснащение ИС смотровыми приспособлениями для своевременного обнаружения дефектов и аномалий на ранних стадиях развития. Эта проблема также остается нерешенной по настоящее время. При этом очевидно, что полностью оснастить ИС встроенными эксплуатационными устройствами

для достижения всех его элементов практически невозможно. Поэтому в проекте должен присутствовать раздел, в котором обосновывается тип и основные требуемые технические характеристики передвижного мостового автогидроподъемника (высота опускания под мост, вылет стрелы и т.п.), с учетом досягаемости всех элементов ИС в сочетании с возможностями, предоставляемыми встроенными приспособлениями. В данном разделе по организации содержания должны предписываться и рассчитываться и другие мероприятия по надзору, уходу и профилактике, выполнение которых будет способствовать продлению долговечности элементов ИС. На рис. 4 показан пример продуманного оснащения моста смотровыми ходами не только между балками, но и по фасаду.

Противоречивость проектных решений, с точки зрения обеспечения наибольшего срока службы, ярко проявляется на примере вошедших в практику в последние два десятилетия конструкций железобетонных плит в неизвлекаемой опалубке из металла или других материалов. Главное противоречие состоит в том, что, казалось бы, упомянутые неизвлекаемые поддоны удобны при строительстве, упрощают проектирование и создают бла-

гоприятный внешний вид, ведь протечек под ними не видно. Но это-то как раз и противоречит принципу долговечности, так как протечки нужно отслеживать на ранних стадиях, а спрятанная в поддоне плита при повреждении гидроизоляции становится аккумулятором влаги, хлоридов и коррозии. Очевидно, что это накопление проявится скачкообразно, неожиданно, в непредсказуемых местах и с высокой вероятностью тяжелых аварийных последствий, а ремонтировать такую плиту будет уже нецелесообразно, ее придется заменять.

Выводы

Для реализации государственного подхода в области проектирования, строительства и эксплуатации автодорожных ИС следует обеспечивать:

- усиление обратной связи «эксплуатация ИС – проектирование ИС»;
- развитие строительного контроля;
- проектирование не только по критериям прочности и деформативности, но и по критериям долговечности, назначая проектные сроки службы элементов ИС в соответствии с пределом «полезного» износа;
- максимально возможную оснащенность средствами доступа к элементам ИС;
- повышение эффективности сох-

раняющих (гидроизоляция, водоотвод и т.п.) и антивандальных устройств и мероприятий;

- разработку разделов эксплуатации ИС на протяжении их жизненного цикла, анализ проектных решений по критериям оптимизации жизненного цикла;

- внедрение технико-экономически обоснованных контрактов жизненного цикла с обеспечением высокой степени финансовой мотивации.

В процессе решения задач по увеличению срока службы ИС, как показывает передовой мировой опыт, попутно обеспечивается повышение безопасности, эксплуатационной надежности, улучшение других потребительских свойств, снижаются риски внезапных отказов и обрушений. В результате учета в проектных решениях и применения на практике вышеприведенных и подобных мероприятий хорошо организованное общество или частная компания снижает нагрузку на бюджеты всех уровней, повышая КПД элементов ИС.

**Сыров А.В. Начальник отдела
ОАО «Трансмост», к.т.н.**